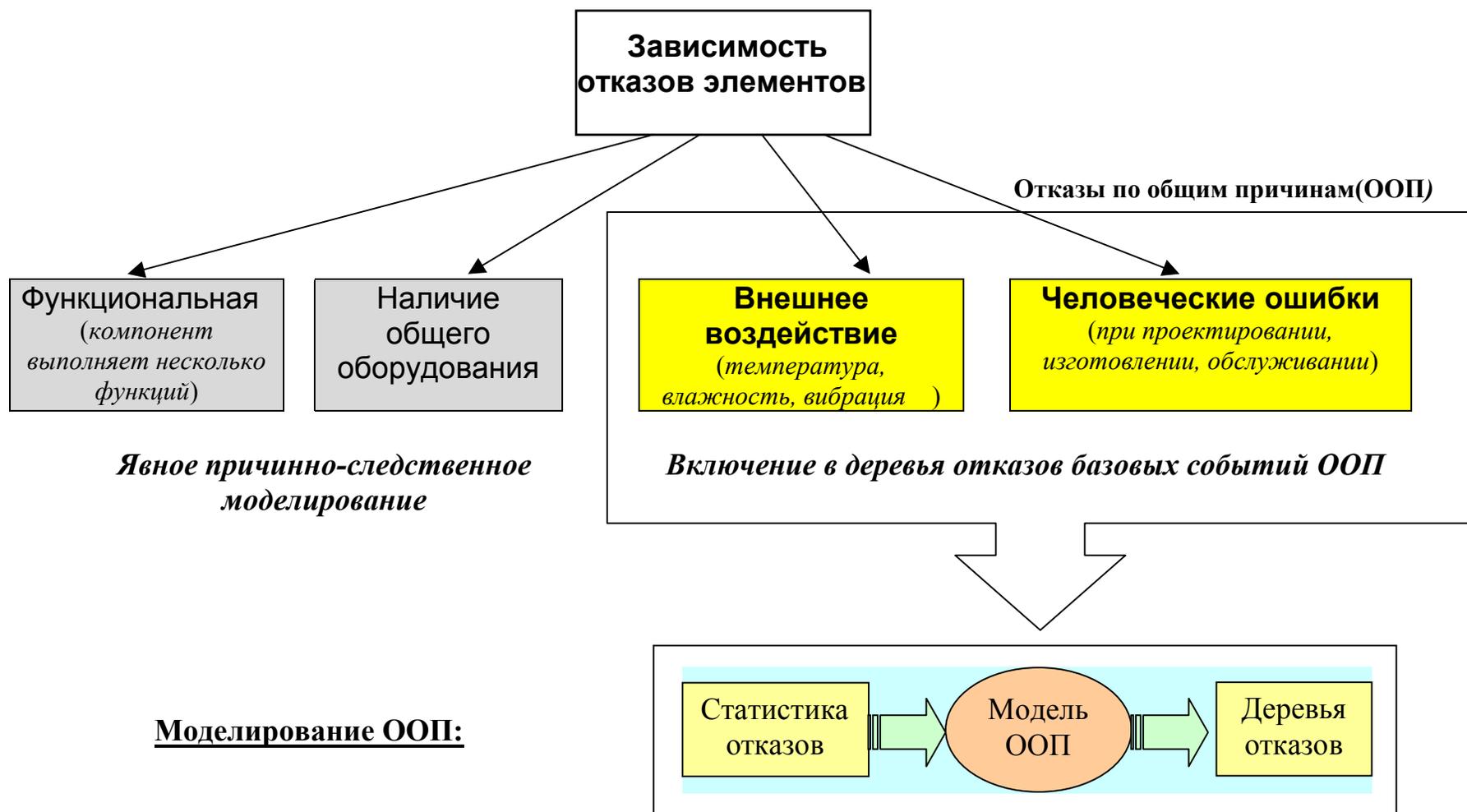
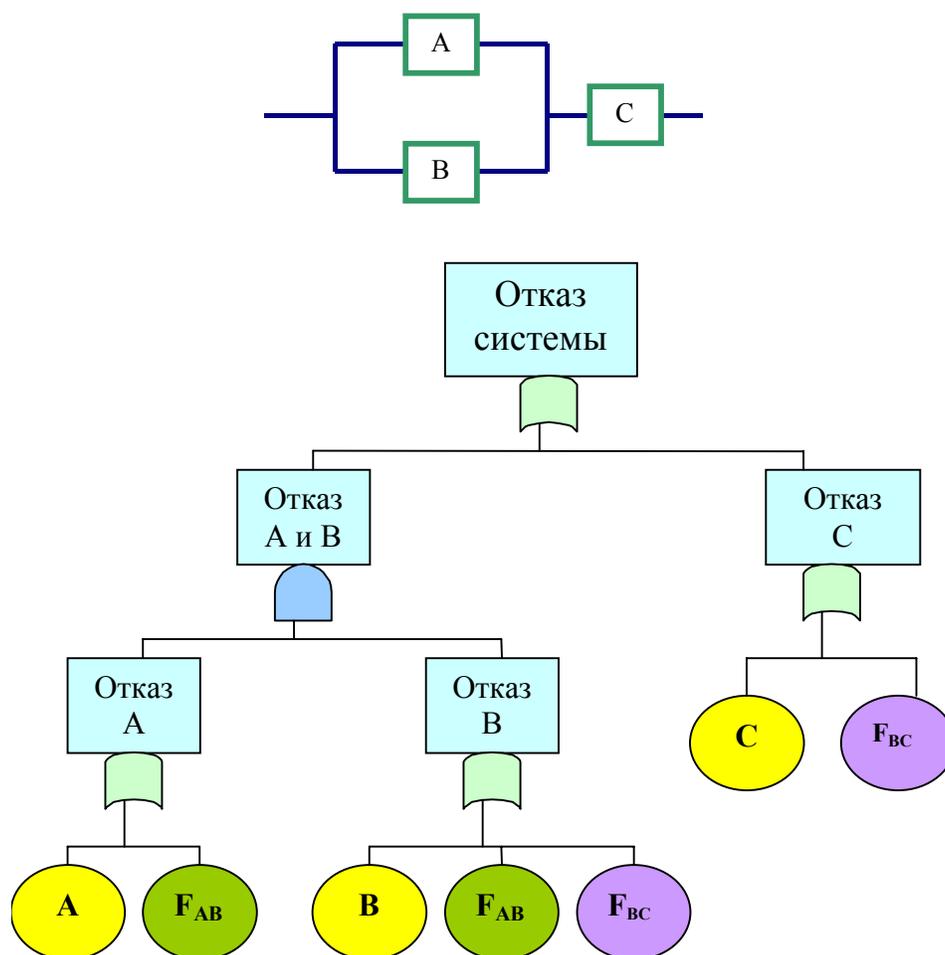
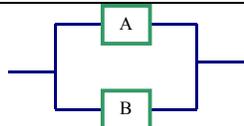


Моделирование зависимых отказов элементов



Включение в деревья отказов событий ООП



Учёт ООП				
	-	+	-	+
P(A)	10^{-3}	$9.9 \cdot 10^{-4}$	1	1
P(B)	10^{-3}	$9.9 \cdot 10^{-4}$	10^{-3}	$5 \cdot 10^{-4}$
P(C)	0	0	10^{-3}	$5 \cdot 10^{-4}$
P(F _{AB})	0	10^{-5}	0	0
P(F _{AB})	0	0	0	$5 \cdot 10^{-4}$
Вероятность отказа системы	10^{-6}	$1.1 \cdot 10^{-5}$	$2 \cdot 10^{-3}$	$1.5 \cdot 10^{-3}$

Обобщенная модель ООП

Для группы элементов

$$\mathfrak{N}^n = \{X_1, X_2, \dots, X_n\}$$

$$P(C_{i_1 \dots i_k}) = \theta_{i_1 \dots i_k}^{(n)} \sum_{j=1}^k P(A_{i_j})$$

где $\theta_{i_1 \dots i_k}^{(n)}$ - параметры обобщённой модели;

$$\{i_1, i_2, \dots, i_k\} \in G_k^n, (2 \leq k \leq n);$$

$P(A_i)$ - вероятность независимого (не ООП) отказа элемента i в группе ООП размера n .

$P(C_{i_1 i_2 \dots i_k})$ - вероятность отказа по общей причине k различных компонент

$$\{X_{i_1}, X_{i_2}, \dots, X_{i_k}\}, X_{i_j} \in \mathfrak{N}^n$$

G_k^n - множество, содержащее сочетания из n чисел

$$\{1, 2, \dots, n\} \text{ размером } k ..$$

Обобщенная модель ООП
(группа идентичных элементов)

$$P(A_1) = P(A_2) = \dots = P(A_n) = Q_1^{(n)}$$
$$P(C_{i_1 i_2 \dots i_k}) = Q_k^{(n)} \quad \forall \{i_1, i_2, \dots, i_k\} \in G_k^n$$

Предположение симметричности:

$$\theta_{i_1 \dots i_k}^{(n)} = \eta_k^{(n)} \quad \forall \{i_1, i_2, \dots, i_k\} \in G_k^n \quad (2 \leq k \leq n)$$

$$Q_k^{(n)} = k \eta_k^{(n)} Q_1^{(n)}$$

$Q_k^{(n)}$ - вероятность базового события, включающего отказ k определённых элементов $(2 \leq k \leq n)$ по общей причине, в группе ООП размера n .

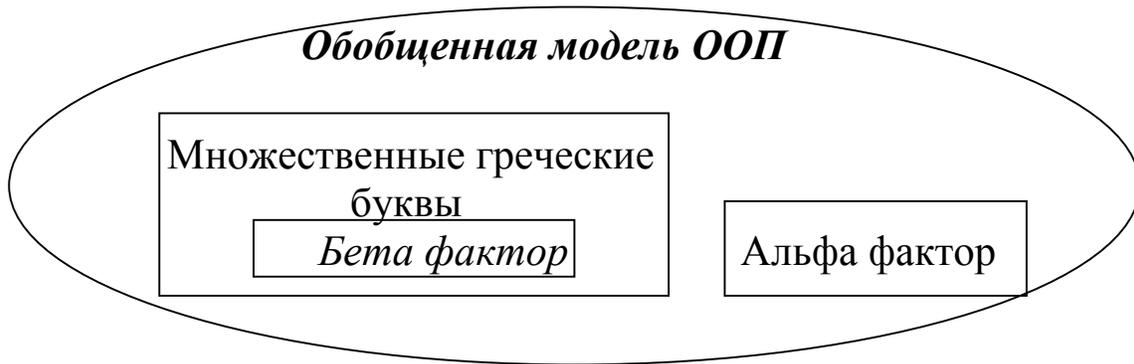
“Стандартные” модели ООП

Бета фактор
$Q_k^{(n)} = \begin{cases} (1 - \beta^{(n)}) Q_T^{(n)} & k = 1 \\ 0 & 2 \leq k \leq n-1 \\ \beta^{(n)} Q_T^{(n)} & k = n \end{cases}$
Множественные греческие буквы
$Q_k^{(n)} = \frac{1}{\binom{n-1}{k-1}} \left[(1 - \rho_{k+1}^{(n)}) \prod_{i=1}^k \rho_i^{(n)} \right] Q_T^{(n)}$ <p style="text-align: center;"> $1 \leq k \leq n; \quad \rho_1^{(n)} = 1, \rho_2^{(n)} = \beta^{(n)}, \rho_2^{(n)} = \gamma^{(n)}, \dots, \rho_{n+1}^{(n)} = 0$ </p>
Альфа фактор
$Q_k^{(n)} = \frac{k}{\binom{n-1}{k-1}} \frac{\alpha_k^{(n)}}{\alpha_T^{(n)}} Q_T^{(n)}$ $\alpha_T^{(n)} \equiv \sum_{i=1}^n i \alpha_i^{(n)}$

$Q_T^{(n)}$ - полная вероятность отказа каждого элемента (как по независимым, так и общим причинам)

$Q_k^{(n)}$ - вероятность базового события, включающего отказ k определённых элементов ($2 \leq k \leq n$) по общей причине, в группе ООП размера n .

“Стандартные” модели ООП как частный случай обобщенной.



Допущения принятые в стандартных моделях

- *Идентичность элементов* – все элементы имеют равную вероятность отказа;
- *Симметричность группы* – вероятность отказа по общей причине зависит только от количества элементов.

Стандартная модель (параметры)	Обобщенная модель $(\eta_2^{(n)}, \eta_3^{(n)}, \dots, \eta_n^{(n)})$
β фактор (β)	$\eta_k^{(n)} = 0 \quad (2 \leq k \leq n-1)$ $\eta_n^{(n)} = \frac{1}{n} \left(\frac{\beta}{1-\beta} \right)$
Множ. греческие буквы ($\alpha, \beta, \gamma, \delta, \dots$)	$\eta_k^{(n)} = \frac{1}{\binom{n-1}{k-1}} \cdot \frac{(1-\rho_{k+1}) \left(\prod_{i=1}^k \rho_i \right)}{k(1-\rho_2)} \quad (2 \leq k \leq n)$ $\rho_1 = 1, \rho_2 = \beta, \rho_3 = \gamma, \dots, \rho_{n+1} = 0$
α фактор ($\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n$)	$\eta_k^{(n)} = \frac{1}{\binom{n-1}{k-1}} \cdot \frac{\alpha_k}{\alpha_1} \quad (2 \leq k \leq n)$

Оценка параметров обобщающей модели.
(Несимметричный случай)

$m_{i_1 \dots i_k}^{(n)}$ - полное число зафиксированных событий отказов
 компонент $\{i_1, i_2, \dots, i_k\} \in G_k^n; 1 \leq k \leq n$

Постоянная вероятность отказа на требование. Неразнесённое
 опробование

$$S_j^{(n)} = \frac{\sum_{\substack{\{i_1, i_2, \dots, i_k\} \in G_k^n \\ j \in \{i_1, i_2, \dots, i_k\}}} m_{i_1 i_2 \dots i_k}}{M} \qquad S_{i_1 \dots i_k}^{(n)} = \frac{m_{i_1 i_2 \dots i_k}}{M}$$

Постоянная вероятность отказа на требование. Разнесённое опробование

$$S_j^{(n)} = \frac{\sum_{\substack{\{i_1, i_2, \dots, i_k\} \in G_k^n \\ j \in \{i_1, i_2, \dots, i_k\}}} m_{i_1 i_2 \dots i_k}}{M + \sum_{\substack{\{i_1, i_2, \dots, i_k\} \in G_k^n \\ j \notin \{i_1, i_2, \dots, i_k\}}} m_{i_1 i_2 \dots i_k}}$$

$$S_{i_1 \dots i_k}^{(n)} = \frac{m_{i_1 i_2 \dots i_k}}{M k + \sum_{\substack{\{j_1, j_2, \dots, j_q\} \in G_q^n \\ \{i_1, i_2, \dots, i_k\} \cap \{j_1, j_2, \dots, j_q\} = \emptyset}} m_{j_1 j_2 \dots j_q}}$$

$$P_j^{(n)} = S_j^{(n)} \quad 1 \leq j \leq n$$

$$\theta_{i_1 \dots i_k}^{(n)} = \frac{S_{i_1 \dots i_k}^{(n)}}{\sum_{j=1}^k S_j^{(n)}} \quad \{i_1, i_2, \dots, i_k\} \in G_k^n; 2 \leq k \leq n$$

Оценка параметров обобщающей модели.
(Симметричный случай)

$m_i^{(n)}$ - полное число событий в которых фиксируется
 одновременный отказ i компонент $1 \leq i \leq n$

Постоянная вероятность отказа на требование. Неразнесенное
 опробование

$$Q_1^{(n)} = \frac{\sum_{i=1}^n i m_i}{nM} \qquad Q_k^{(n)} = \frac{m_k}{\binom{n}{k} M} \qquad 2 \leq k \leq n$$

Постоянная вероятность отказа на требование. Разнесенное опробование

$$Q_1^{(n)} = \frac{\sum_{i=1}^n i m_i}{nM + (n-1) \sum_{i=1}^n m_i}$$

$$Q_k^{(n)} = \frac{m_k}{\binom{n-1}{k-1} nM} \qquad 2 \leq k \leq n$$

$$P_1^{(n)} = Q_1^{(n)}$$

$$\eta_k^{(n)} = \frac{Q_k^{(n)}}{k Q_1^{(n)}} \qquad 2 \leq k \leq n$$

Консервативные оценки параметров

Консервативные оценки параметров для модели МГБ (по NUREG 5801)

Размер группы	Параметры МГБ			Параметры обобщенной модели		
	β	γ	δ	$\eta_{2/n}$	$\eta_{3/n}$	$\eta_{4/n}$
Элементы в режиме ожидания						
$n=2$	0.10	-	-	0.056	-	-
$n=3$	0.10	0.27	-	0.020	0.010	-
$n=4$	0.11	0.42	0.40	0.012	0.0035	0.0052
Функционирующие элементы						
$n=2$	0.05	-	-	0.026	-	-
$n=3$	0.05	0.27	-	0.0096	0.0047	-
$n=4$	0.055	0.42	0.40	0.0056	0.0016	0.0024

Консервативные оценки параметров для модели альфа фактор (по NUREG 5801)

Размер группы	Параметры модели альфа фактор				Параметры обобщающей модели		
	α_1	α_2	α_3	α_4	$\eta_{2/n}$	$\eta_{3/n}$	$\eta_{4/n}$
Элементы в режиме ожидания							
$n=2$	0.95	0.05	-	-	0.053	-	-
$n=3$	0.95	0.04	0.01	-	0.023	0.011	-
$n=4$	0.95	0.035	0.01	0.005	0.012	0.0035	0.0053
Функционирующие элементы							
$n=2$	0.975	0.025	-	-	0.026	-	-
$n=3$	0.975	0.02	0.005	-	0.010	0.0051	-
$n=4$	0.975	0.0175	0.005	0.0025	0.0060	0.0017	0.0026